

Method for heat exchanger control.

Publication number: EP0559043

Publication date: 1993-09-08

Inventor: RHIEL FRANZ FERDINAND DR (DE); STEUDE HEINRICH DIPL-ING (DE); WEYMANS GUENTHER DR (DE); ELGETI KLAUS PROF DR (DE)

Applicant: BAYER AG (DE)

Classification:



- international: *F25J5/00; B01D3/42; G05B11/36; G05D23/00; G05D23/19; F25J5/00; B01D3/42; G05B11/36; G05D23/00; G05D23/19; (IPC1-7): B01D3/42; F28F27/00; G05D23/19*

- European: B01D3/42D26; G05D23/19

Application number: EP19930102757 19930222

Priority number(s): DE19924207144 19920306

Also published as:

 US5363905 (A1)
 JP6019560 (A)
 DE4207144 (A1)
 EP0559043 (B1)
 ES2085662T (T3)

Cited documents:

 US3676304
 DE2421003
 US4836146
 EP0155826
 JP63071625

Abstract of EP0559043

A description is given of a method for heat exchanger (3) control which is characterised in that the enthalpy flux in the heat exchanger (3) serves as the manipulated variable. The robust control, which can be used in a versatile fashion, is particularly suited for use in endothermic reactions and in distillation.



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 559 043 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 93102757.7

(51) Int. Cl. 5: F28F 27/00, B01D 3/42,
G05D 23/19

(22) Anmeldetag: 22.02.93

(42) Priorität: 06.03.92 DE 4207144

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
06.09.93 Patentblatt 93/36

(44) Benannte Vertragsstaaten:
BE DE ES FR GB IT NL

(71) Anmelder: BAYER AG

D-51368 Leverkusen(DE)

(72) Erfinder: Rhiel, Franz Ferdinand, Dr.
Pflaumenstrasse 26

W-4047 Dormagen-Delhoven(DE)

Erfinder: Steude, Heinrich, Dipl.-Ing.

Am Telegraf 24

W-5090 Leverkusen 1(DE)

Erfinder: Weymans, Günther, Dr.

Körnerstrasse 5

W-5090 Leverkusen 1(DE)

Erfinder: Elgett, Klaus, Prof. Dr.

Am Hermannshof 8

W-5060 Bergisch Gladbach 2(DE)

(54) Verfahren zur Regelung von Wärmeübertragern.

(57) Es wird ein Verfahren zur Regelung eines Wärmeübertragers (3) beschrieben, das dadurch gekennzeichnet ist, daß der Enthalpiestrom in den Wärmeübertrager (3) als Stellgröße dient. Die robuste und vielseitig einsetzbare Regelung ist insbesondere zum Einsatz bei endothermen Reaktionen und bei der Destillation geeignet.

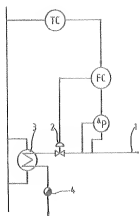


FIG. 1

EP 0 559 043 A1

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Steuerung von Wärmeübertragern zur Einstellung einer Regelgröße auf der Prozeßseite des Wärmeübertragers.

Die Erfindung liegt auf dem Gebiet verfahrenstechnischer Operationen, die einer geregelten Energiezufuhr bedürfen. Die Versorgung dieser Energieverbraucher erfolgt im großtechnischen Maßstab zumeist zentral von einem Kraftwerk aus. Der vom Kraftwerk produzierte Wasserdampf wird über eine sogenannte Dampfschiene zu den einzelnen Verbrauchern geleitet. Beim Verbraucher wird der ankommende Dampf in den seltensten Fällen direkt dem Prozeß zugeleitet. Überwiegend wird durch einen zwischengeschalteten Wärmeüberträger (Wärmetauscher) lediglich die im Wasserdampf enthaltene Wärme an den Prozeß übertragen. Die Steuerung der übertragenen Energiemenge bildet den Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

Das im großtechnischen Maßstab gebräuchliche Verfahren läßt sich anhand von Figur 1 beschreiben. Um beispielsweise die Temperatur in einem Prozeß zu regeln (TC), wird die eigentliche Stellgröße, die übertragene Energie, in eine Ersatzstellgröße, nämlich die in den Wärmetauscher 3 geleitete Dampfmenge übersetzt. In der Zeichnung ist dies durch die Steuerungseinheit FC (feed control) dargestellt. Sie steuert das Ventil 2. Als Kontrollwert dient der Zufuhrkontrolle zumeist der Druckabfall des Dampfes über eine Meßblende 5 innerhalb der Zuleitung. Unter idealen Bedingungen, d.h. bei konstantem Druck und konstanter Temperatur, ist der Volumenstrom und damit auch der Massenstrom durch die Meßblende der Wurzel des Druckabfalles an der Meßblende proportional (Blendengleichung).

Der Nachteil dieses bekannten Vorfahrens besteht jedoch darin, daß sich die Bedingungen (Druck, Temperatur) innerhalb einer Dampfschiene, die vom Kraftwerk aus mehrere Verbraucher speist, durchaus ändern können. Beispielsweise werden bereits durch das Zu- und Abschalten von Verbrauchern entlang einer Dampfschiene Störungen erzeugt.

Es bestand daher die Aufgabe, eine Regelung zur besseren Kontrolle der in einen Prozeß eingetragenen Wärmemenge zu entwickeln.

Die Aufgabe wurde durch ein Verfahren unter Durchführung folgender Schritte gelöst;

- a) Messung des Massenstromes (\dot{m}) und mindestens einer der Größen Druck (p) und Temperatur (T) des Betriebsmittels in der Zufuhrleitung (1) zum Wärmeüberträger (3);
- b) Bestimmung des Enthalpiestromes in den Wärmeüberträger (3) unter Verwendung der in a) gemessenen Größen;
- c) Verwendung des durch b) bestimmten Enthalpiestromes in den Wärmeüberträger (3) als Stellgröße für die Regelgröße auf der Prozeßseite, wobei der Wärmeüberträger (3) durch Veränderung des in ihn fließenden Enthalpiestromes nach Maßgabe der Regelgröße gesteuert wird.

Die Messung der Größen Druck (p), Temperatur (T) und die Bestimmung des Massenstromes (\dot{m}) werden durch bekannte Verfahren und Vorrichtungen durchgeführt. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die üblichen Verfahren zur Bestimmung des Massenstromes (Drossel, induktive Durchflussmessung) lediglich einen Volumenstrom bestimmen, der sich erst nach Multiplikation mit der Dichte (δ) des Arbeitsmediums in einen Massenstrom umrechnen läßt. Bei dieser Umrechnung können Ungenauigkeiten auftreten, wenn nicht berücksichtigt wird, daß δ von T und p abhängt. Der Enthalpiestrom in den Wärmeüberträger ergibt sich durch Multiplikation des Massenstromes (\dot{m}) mit der spezifischen Enthalpie (h) des Arbeitsmediums, die sich bei Kenntnis der beiden Zustandsgrößen p und T auf bekannte Weise errechnen läßt. Befindet sich das Arbeitsmedium, beispielsweise Wasserdampf, jedoch exakt an einer Phasengrenze, so reicht unter Ausnutzung der bekannten thermodynamischen Zusammenhänge die Bestimmung einer der beiden Größen, Druck oder Temperatur, zur Gewinnung der übrigen Zustandsgrößen, also auch der spez. Enthalpie. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn als Arbeitsmedium Wasserdampf im gesättigten Zustand verwendet wird.

Bei Kenntnis des Enthalpiestromes (\dot{E}) läßt sich dieser als Stellgröße verwenden. Die eigentliche Regelgröße beispielsweise die Temperatur in einem verfahrenstechnischen Prozeß, läßt sich um einen bestimmten Betrag ändern, wenn der Enthalpiestrom in den Wärmeüberträger um einen dieser Änderung entsprechenden Betrag vergrößert beziehungsweise verkleinert wird. Im einfachsten Fall geschieht dies durch eine Zufuhrkontrolle (FC), bei der mit Hilfe eines Ventils der Massenstrom in den Wärmeüberträger gesteuert wird.

Durch das neue Verfahren wird eine genaue, direkte Regelung der in einen Prozeß eingespeisten Energiemenge ermöglicht. Das neue Regelungsverfahren berücksichtigt Störeinflüsse, denen das Arbeitsmedium in der Speiseleitung (Dampfschiene) unterworfen ist. Damit werden diese Störeinflüsse vom eigentlichen Prozeß (Destillation etc.) ferngehalten. Dadurch wird der Vorteil erzielt, daß sich dieser Prozeß innerhalb enger und genauer definierbaren Toleranzen steuern läßt. Zudem erfolgt eine wirtschaftlichere Ausnutzung produzierter Wärmemengen.

Das Verfahren ist mit Vorteil bei technischen Destillations- bzw. Rektifikationskolonnen mit Durchmessern über 0,150 m, bevorzugt über 0,5 m, insbesondere über 1,0 m, einzusetzen. Diese technischen Kolonnen fordern aufgrund ihrer Trägheit eine besonders genaue Steuerung.

Eine bevorzugte Regelgröße auf der Prozeßseite ist die Temperatur, da diese die wichtigste Prozeßgröße in den genannten Anlagen darstellt. Aber auch andere Größen wie beispielsweise der Sumpfstand, können mit dem neuen Verfahren geregelt werden.

Eine bevorzugte Durchführungsform des neuen Verfahrens besteht in der Berücksichtigung des den Wärmeübertrager wieder verlassenden Enthalpiestromes. Dies ist zu erreichen, indem man die spezifische Enthalpie (h_g) von der spezifischen Enthalpie des zugeleiteten Arbeitsmediums (h_l) abzieht und diese Differenz mit dem Massenstrom (\dot{m}) multipliziert. Dabei wird vorausgesetzt, daß keine Massenverluste im Wärmeübertrager auftauchen. Bei Vorliegen von Kondensat ist es ausreichend, zur Bestimmung von h_g , lediglich die Temperatur des Kondensats zu messen.

Eine weitere bevorzugte Variante des Verfahrens berücksichtigt zudem das zeitliche oder dynamische Verhalten des Wärmeübertragungsprozesses. Das dynamische Verhalten wird durch Ermittlung der Übertragungsfunktion bestimmt. Dazu kann z.B. der Eingangstemperatur des Arbeitsmediums ein definierter zeitlicher Verlauf, etwa eine Sprungfunktion oder eine periodische Funktion oder eine Kombination von beiden, aufgeprägt werden und das Verhalten des Wärmetauschers durch die Messung des zeitlichen Verlaufes der Temperatur T_a des Arbeitsmediums am Ausgang des Wärmetauschers bestimmt werden. Dieses Verhalten hängt u.a. vom Durchsatz und der Verweilzeitcharakteristik des Massesstromes im Wärmetauscher sowie der Wärmekapazität des Wärmetauschers ab. Im Gegensatz zum oben beschriebenen statischen Fall, wo der übertragene Enthalpiestrom E mit $\dot{m} \cdot (h_l - h_g)$ gleichgesetzt wurde, müssen im dynamischen Fall also Größen wie bevorzugtweise die Totzeit θ und die Zeitkonstante τ des Wärmetauschers sowie das zeitliche Verhalten der Austrittstemperatur T_a berücksichtigt werden. Einen besonders bevorzugten Ansatz zur Bestimmung des übertragenen Enthalpiestromes liefert

$$E(t) = \dot{m} \cdot [h_l(t - \theta) - h_g(t) - \tau \cdot c \cdot \frac{dT_a(t)}{dt}]$$

$$\text{mit: } \theta = \frac{K_1}{\dot{V}_k} ; \tau = \tau_b \cdot K_2 ; \tau_b = \frac{V}{\dot{V}_k}$$

Dabei bedeutet

- E : Übertragene Enthalpie
- t : Zeit
- θ : Totzeit
- τ : Zeitkonstante
- τ_b : rechnerische Verweilzeit des Heizmittels im Wärmetauscher
- K_1, K_2 : Apparate (Wärmetauscher)-Konstanten (rechnerisch oder experimentiell bestimmbar)
- V : Flüssigkeitsvolumen des Wärmetauschers auf der Heizseite
- \dot{V}_k : Volumenstrom des Kondensats
- \dot{m} : Massenstrom des Heizmittels (Dampf)
- h : spezifische Enthalpie des Dampfes/Kondensats
- t : Temperatur in °C (oder K)
- c : spezifische Wärme des Kondensats
- Indizes: i : Wärmetauscher Eingang
- o : Wärmetauscher Ausgang (Kondensat)

Der Enthalpiestrom läßt sich also mittels geeignet gewählter elektronischer Bausteine wie Multiplizierern und Differenziergliedern aus meßbaren Größen bestimmen. Ebenso sind für diese Aufgabe programmierbare Mikroprozessoren anwendbar.

Trotz aufwendigerer Steuerungselektronik besitzt diese Durchführungsform den Vorteil, präziser auf rasche Zuflußstörungen des Arbeitsmediums reagieren zu können.

Die genaue Kenntnis des übertragenen Enthalpiestromes im Wärmetauscher wird in einer bevorzugten Variante des Verfahrens ausgenutzt, um ein Kontrollsystem zur Überwachung des Wärmeübertragungsverhaltens der Anlage zu erhalten.

Die übertragene Enthalpie, d.h. die in den Prozeß eingebrachte Wärmemenge, kann als Produkt $k \cdot A \cdot \Delta T$ dargestellt werden. Dabei ist ΔT die Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur des Arbeitsmediums und der Temperatur des wärmegeheizten Prozesses, also beispielsweise die Temperatur im Sumpf einer Destillieranlage. A ist ein Maß für die Fläche, durch die der Wärmetransport stattfindet, und k ist der Wärmedurchgangskoeffizient. Durch Vergleich der übertragenen Enthalpiemenge mit Änderung der Temperaturdifferenz ΔT läßt sich (A als konstant angenommen) eine Änderung, beispielsweise eine Verschlechterung des Koeffizienten k feststellen.

Durch die Überwachung des Wärmeübertragungsverhaltens, wie z.B. einer Verschlechterung, auch Fouling genannt, ist beispielsweise ein Umschalten auf gereinigte Wärmeübertrager beziehungsweise das Abschalten zur Reinigung steuerbar.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung beispielhaft erläutert. Dabei zeigen
 Figur 1 und Figur 2 das bekannte Schema zur Temperaturregelung eines Prozesses mittels eines dampfgespeisten Wärmeübertragers.

Figur 3 zeigt die Temperaturregelung des gleichen Prozesses nach dem neuen Verfahren.

Wie bereits beschrieben, erfordert nach den bekannten Verfahren die Einstellung einer bestimmten Temperatur eine Regelung der Zufuhrmenge FC mittels eines Ventiles 2 in Abhängigkeit von dem gemessenen Massenstrom durch die Dampfleitung 1. Im beschriebenen Fall wird der Massenstrom durch Messung der Druckdifferenz Δp an der Blende 5, die in der Dampfleitung 1 sitzt, vorgenommen. Die somit geregelte Dampfmenge gelangt in den Wärmeübertrager 3 und verursacht im Prozeß die gewünschte Temperaturänderung.

Nach dem neuen Verfahren (hier der Durchführungsform, ohne Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens des Wärmeübertragers, aber mit Berücksichtigung des durch das Kondensat abgeführten Enthalpiestromes) tritt anstelle der Übersetzung in die Regelgröße Temperatur in die Regelgröße Zufuhrmenge die Übersetzung in die Stellgröße Enthalpiestrom EC (enthalpy control). Eine Abweichung vom Sollwert veranlaßt die Enthalpiesteuerung EC zur Nachführung des Ventiles 2. Die EC erhält die erforderlichen Meßwerte durch Messung des Druckes P_1 und der Temperatur T_1 in der Dampfzuführung 1. Aus diesen Meßgrößen lassen sich die spezifische Enthalpie h_1 und die Dichte δ durch bekannte elektronische Bauteile (Multiplizierer etc.) oder programmierbare Mikroprozessoren bestimmen. Einen Weg dazu bieten dem Fachmann bekannte Berechnungsblätter (z.B. VDI-Wärmeatlas, 6. Auflage, 1991, DB 1 bis DB 15), wobei die tabellierten Werte als Stützstellen zur Interpolation dazwischen liegender Werte benutzt werden. Die Bestimmung des Massenstromes geschieht auf die bekannte Weise mit Hilfe einer Blende 5. Über der Blende wird der Druckabfall Δp gemessen. Aus diesem Meßwert bestimmt man unter Zugrundelegung der bekannten Blendengleichung zunächst den Volumenstrom. Unter Verwendung der aus den Größen P_1 und T_1 bestimmten Zustandsgröße δ , der Dichte des Arbeitsmediums, wird dann der Massenstrom m bestimmt. Zur Bestimmung des den Wärmeübertrager 3 verlassenden Enthalpiestromes ergibt sich die Messung der Temperatur T_2 des Kondensats. Die im Wärmetauscher 3 übertragene Enthalpie ergibt sich durch Bildung des Produktes aus Massenstrom m und der Differenz der spezifischen Enthalpien h_1, h_2 .

40 Patentansprüche

1. Steuerungsverfahren für einen Wärmeübertrager (3), aufweisend eine Prozeßseite und eine Betriebsmit-
 45 telseite sowie eine Zufuhrleitung (1) für das gasförmige Betriebsmittel, zur Einstellung einer Regelaröße auf der Prozeßseite, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
 - a) Messung des Massenstromes (m) und mindestens einer der Größen Druck (p) und Temperatur (T) des Betriebsmittels in der Zufuhrleitung (1) zum Wärmeübertrager (3);
 - b) Bestimmung des Enthalpiestromes in den Wärmeübertrager (3) unter Verwendung der in a) gemessenen Größen;
 - c) Verwendung des durch b) bestimmten Enthalpiestromes in den Wärmeübertrager (3) als Stellgröße für die Regelgröße auf der Prozeßseite, wobei der Wärmeübertrager (3) durch Veränderung des in ihn fließenden Enthalpiestromes nach Maßgabe der Regelgröße gesteuert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Stellgröße zur Regelung der Wärmeübertragung die Differenz zwischen dem Enthalpiestrom in den Wärmeübertrager (3) und des den
 55 Wärmeübertrager (3) verlassenden Enthalpiestroms verwendet wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß das zeitliche Verhalten des Wärmeübertragers (3) bei der Bestimmung des Enthalpiestromes berücksichtigt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Enthalpiestrom durch Veränderung des Massestromes (\dot{m}) geändert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Regelgröße auf der Prozeßseite die Temperatur verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der vom Wärmeübertrager (3) übertragene Enthalpiestrom mit der Temperaturdifferenz zwischen gasförmigem Medium und Preßseite verglichen wird und dieser Vergleich als Maß für die Veränderung der Wärmeübertragungseigenschaften des Wärmeübertragers (3) dient.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das gasförmige Medium Wasserdampf ist.

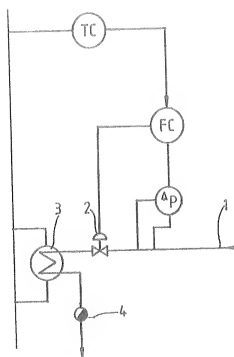


FIG. 1

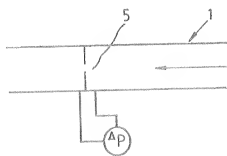


FIG. 2

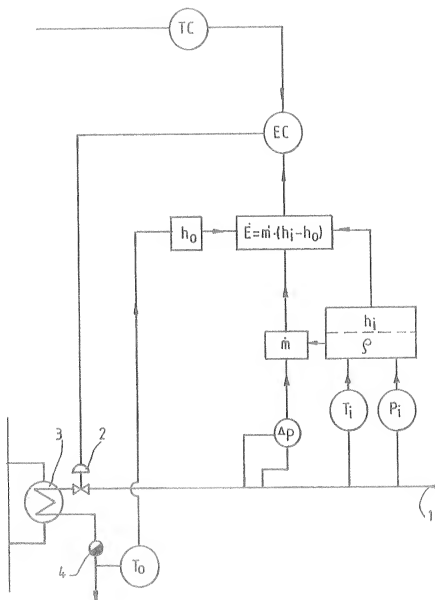


FIG. 3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 93 10 2757

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X	US-A-3 676 304 (HOBBS ET AL.) * Zusammenfassung; Spalte 2, Zeilen 12 - 74; Spalte 3, Zeilen 12 - 13; Figur 1 *	1, 2, 4, 5	F28F27/00 B01D3/42 G05D23/19
A	DE-A-2 421 003 (SIEMENS AG) * gesamtes Dokument *	1, 4, 7	
A	US-A-4 836 146 (RUSSELL ET AL.) * Spalte 5, Zeile 10 - Spalte 7, Zeile 51; Figuren 1, 2 *	6	
A	EP-A-0 155 826 (THE BABCOCK & WILCOX COMPANY) * Zusammenfassung; Seite 1, Zeile 22 - Seite 2, Zeile 15; Seite 3, Zeile 23 - Seite 4, Zeile 2; Seite 8, Zeilen 8 - 32; Ansprüche 1, 3; Figuren 1 *	6	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 298 (P-744)15, August 1988 & JP-A-63 071 625 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 1. April 1988 * Zusammenfassung *	6	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5) F28F F28D F28B G05D F22B B01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Redaktionsort BERLIN		Abschlußdatum der Recherche 25 JUNI 1993	Erfinder BEITNER M.
KATEGORIE DER GEMANNTE DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : abschließliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : dieses Patendokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument * : Mitglied der gleichen Patentfamilie, überreife/reife Dokument	